

Bírálati vélemény

Gingl Zoltán

Véletlen fluktuációk tanulmányozása és felhasználása szimulációk és hardver fejlesztések segítségével

című MTA doktori értekezéséről

Az angol nyelven írt értekezés 6 fejezetben 97 oldalon ismerteti a jelölt eredményeit és külön fejezetben foglalja össze a dolgozat legfontosabb megállapításait és részletezi téziseit. Ezt követően közel 20 oldalon felsorolja a témához tartozó saját és egyéb hivatkozásokat. Az értekezés formailag jól szerkesztett és áttekinthető, a kiállítása is mintaszerű.

A jelen bírálónak így nem okozott nehézséget az olvasása, annál inkább az a tény, hogy **a hat rész csak nagyon lazán** kapcsolódik egymáshoz. Ezért azt az utat választottam hogy az egyes részeket, mint megannyi független dolgozatot próbáltam meg értékelni, és a bírálathoz, a tézispontok értékelésénél említem meg, ha szükséges, a lehetséges kapcsolatokat.

Ennek a szellemében itt részletezem az egyes fejezetekhez kapcsolódó megjegyzéseimet, kérdéseimet.

1. Az **első fejezet** az $1/f$ zajjal foglalkozik, amit nagy érdeklődéssel olvastam, mert szűkebb szakterületemen, a félvezető fizikában gyakran található és nem egyszer tényleges probléma is lehet, - mint, úgy hiszem a szilárdtestfizika más területein is. Amennyire értem, és a szerző is említi, az $1/f$ zajnak általánosan elfogadott elmélete még nincsen, ezért ennek a fejezetnek az a célja, hogy digitális jelgenerátor segítségével, lényegében számítógépes szimulációval olyan $1/f$ generátort állított elő, amelynek a segítségével, több nagyságrenden át vizsgálhatta a zaj-jelet közvetlenül, és különböző transzformációk után. Ilyen transzformáció lehet a jel amplitúdójának a vágása, amely gyakran előfordul a gyakorlati alkalmazások során. A legfőbb eredménye, amit elméleti becsléssel is valószínűsít, hogy az $1/f$ jelalak „robusztus”, a transzformációk után is lényegében $1/f$ alakú lesz.
A kérdésem ezzel kapcsolatban, hogy nem várható-e ez az eredmény, hiszen ha egy olyan transzformációt alkalmazunk egy zajforrásra, amely „viszonylag lassan” módosítja az eredeti jelet a jel spektrális energia eloszlása alig fog változni. Ezt látszik igazolni, hogy az 1.8. ábrán a harmonikus jellel módosított zajteljesítmény spektrális eloszlása feltűnően vált az alkalmazott harmonikus frekvenciánál.
Megjegyzés: szomorúan láttam, hogy mind az irodalmi hivatkozások, mind a saját munka látszólag megállt 2000 elején – gondolom ez azt jelenti, hogy a jelölt ezzel a problémával az utóbbi években nem foglalkozik. Kérem erősítse meg, ha így enne.
2. A **második fejezet** az elektronikus eszközök degradációjával foglalkozik, és a degradációs folyamat megértésére egy speciális modellt, az irányított perkolációt alkalmazza. A jelölt által javasolt modell ellenállás hálózatot használ egy vékony-réteg vezető film leírására, és sikeresen alkalmazza a degradációs folyamatok részleteinek megismerésére. Azzal egyetértek, hogy a perkolációs modell, és az azt hasznosító ellenállás-mérés nagyon hasznos lehet a folyamat nem-destruktív nyomon-követésére, a meghibásodás konkrét

okának a meghatározására azonban a destruktív vizsgálatok nélkülözhetetlenek.

Kérdéseim:

- a. Bár a perkoláció, mint fogalom általánosan is hasznos lehet; úgy gondolom, hogy elsősorban összefüggő, különösen rétegekben lezajló folyamatok leírására szolgál. Ez lehet például egy vékony-réteg ellenállás áram-eloszlásának a vizsgálata. Ma azonban az elektronikus eszközök nagy része olyan (nagyon) vékony rétegeket hasznosít, amelyekben a meghibásodást például a réteg egy pontján és nem a réteg síkjában történő folyamatok okozhatják. Lehet-e ilyen esetekben is az egyszerű modellt használni?
 - b. Külön gond lehet, hogy ma már az elektronikus eszközök döntő része nem lineáris, hanem digitális áramkör. Ezeknél a „meghibásodás”, - eltekintve a paraméterek esetleges fokozatos változásától, amit normális működés során észre sem veszünk, - értelemszerűen „ugrás-szerű”. Lehet-e ilyen esetekben a modellt, vagy hasonló szellemű megfontolást alkalmazni?
 - c. Itt is a saját és a referált dolgozatok lényegében a 90-es évekkel véget érnek! Bár az elektronikában ez nagyjából összeesik a digitális „áttérés” idejével, számos olyan, a vékony-réteg ellenállások jelentőségét lényegesen meghaladó terület van, amelyekben a funkcionális vékony-rétegek a működés alapjai – ilyenek például a vékony-réteg-, szerves-napelemek, üzemanyag cellák, Li-ion elemek... hogy csak a legfontosabbakat említsük. Mi a jelölt véleménye, érdemes lenne-e a meglévő szakmai tudásukkal, esetleg fiatalok bevonásával ezeken a területeken újra bekapcsolódni?
3. A **harmadik rész** egy DSP alapú adatgyűjtő és feldolgozó rendszert ismertet, amelyet részben saját, részben az Egyetemen előforduló feladatok megoldására fejlesztet. A mellékelt saját dolgozatok alapján ennek a fejlesztő munkának a döntő részét 2000 körül végezték. Ez volt az az időszak, amikor már világszerte a kutatás-fejlesztési munkákat szinte kizárólag a személyi számítógépek köré szervezték. Az ekkor fejlesztett rendszerek vagy standard ipari megoldások segítségével vagy saját ötlet alapján, esetlegesen szabadalomképes áramköri megoldás alapján készültek. A jelölt az előbbi utat választotta, törekedve a saját méréseikhez szükséges optimális áramköri elemek felhasználására. A disszertáció ezt a megoldást ismerteti, lényegében egy részletesebb műszaki leírás formájában. Mivel csak a rendszer megvalósítása és nem a megoldások részletei a dolgozat témája, ezért, és azért is mert ez nem a bíráló szakterülete én csak azt szeretném megjegyezni, hogy ma már egyáltalán nem érvényes, hogy az „általános ipari” megoldások drágák és nagyméretűek lennének, éppen az ellenkezője igaz, ami a félvezető eszközök esetében általában is érvényes. Ezért is a kérdésem:
- a. gondolt-e arra, hogy az említett folyamatos (tovább-) fejlesztés során az újabban használatos (át-)programozható logikai céláramköröket (FPGA) és az egyre általánosabb és rendkívül olcsó USB alapú adatgyűjtő kártyákat is alkalmazzanak?
4. A **negyedik rész** speciális területtel, a véletlen zaj „hasznos” következményével, a jel/zaj viszony lehetséges megjavításával foglalkozik. Nevezetesen olyan egyszerű példákat elemez, amikor egy igen gyenge jel esetében, tudatosan keltett zaj segítségével a válaszjelet akkor is meg tudjuk figyelni, amikor az eredeti jel nem - vagy csak bizonytalanul - triggereli a mérendő választ. Ilyen „hasznos” zajt alkalmaznak ipari méretekben az ADC dinamikus tartományának megnövelésére, és a dolgozat ennek a jelenségnek a megértésével és mérésével foglalkozik viszonylag egyszerű model-szerű rendszerekben (a fizikában gyakori két minimumos potenciál, és egy hasonló elektromos rendszer, a Schmitt trigger) segítségével. Kérdéseim:
- a. Nem szokás így fogalmazni, de igaz-e, hogy pl. a diffúzió is a termikus mozgás (zaj?) és a potenciális energia „minimumai” közötti átugrás eredménye? Ha így lenne, hasznosítható-e ez az analógia a stohasztikus rezonancia körében?
 - b. Az igen részletes vizsgálatok között hiányzik az „SNR gain” függése a kitöltési tényezőtől – azt várhatnánk, hogy ezt egyszerűbb volna leírni! Mi erről a jelölt véleménye?
 - c. Ha jól értem, a lézer pulzusok esetében a trigger jel (környezettől, körülményektől... függő) időben lassan változó változását korrigálták az ismertett megoldással. Ha azonban lehetőség van az időben változó vizsgálandó jel „egyedi” mérésére, nem küszöbölhető-e ki eleve a késés ingadozása (így a megjósolhatatlan véletlen ingadozás is!), ha elegendően gyors jelfeldolgozásnál maga a lézer jel indítja a

vizsgálatot? Lehet-e egyszerű példával megmutatni a választott megoldás előnyeit, mert konkrét mérést, ahol ezt bemutatná, a dolgozat sajnos nem tartalmazott. Ha jól értettem a stohasztikus rezonancia nemlineáris rendszerekben periodikus jelek detektálására szolgál zajos környezetben. Ugyanilyen „mérést” lock-in generálással is tudunk mérni. Kérdésem, van-e összehasonlítás a két fajta mérés között, és mi a jelölt véleménye a két módszer használhatóságáról?

5. Az **ötödik fejezet** kis mennyiségű idegen anyag, például gáz detektálásával foglalkozik és a szokásos gáz szenzorok megjavításának a lehetőségével, felhasználva a zaj mérés speciális tulajdonságait is. Kis mennyiségű idegen (leggyakrabban káros) anyag detektálásának legfontosabb követelménye, hogy minél érzékenyebben jelezze az anyag jelenlétét, és lehetőleg meg is különböztesse a lehetséges különféle anyagokat. Túl ezeken cél olyan parányi „érzékelőket” készíteni, amelyeket nagy számban olcsón tudunk alkalmazni. A jelölt érzékenyített szén nano szálak alkalmazásával foglalkozik. Alkalmos kémiai kezelés után a szálak ellenállása változik idegen anyagok hatására, a jelölt ennek a megváltozott ellenállásnak a zaját vizsgálta. Az 5.13. ábra alapján a vezetés zajának spektrális eloszlása különböző mértékben változik a különböző azonos koncentrációjú „szennyezések” hatására, de a jellege nem, és kérdéses, hogy az ismeretlen mennyiségű gáz jelenlétét lehetséges-e így azonosítani? A jelölt javaslata, hogy a zaj-analízis egyéb jellemzőit fel lehet erre használni, és a mérést egyszerűsíti például a zajos jelnek „zero crossing” statisztikája, amit könnyebb mérni, mint a spektrális sűrűséget. Kérdéseim:
 - a. Én egyetlen ábrát sem láttam, amely igazolná, hogy valóban specifikus a javasolt mérés – igaz-e ez?
 - b. A mi Intézetünkben egyéb tulajdonságokat – pl. felületi hullámszűrők rezonancia frekvenciájának a változását, kapacitás érték változást, hullámvezetők optikai tulajdonságának a változását .. – is használtunk a vezetőképesség változásán kívül, és azt találtuk, hogy bár az érzékenység különböző lehet, specifikus megkülönböztetés csak különböző érzékenyítés és/vagy többféle mérés összehasonlítása segítségével lehetséges. Saját tapasztalatai alapján mi erről a jelölt véleménye?
6. A **hatodik fejezet** a biztonságos adatátvitel problémájával foglalkozik és annak egy speciális módjával, amely az ellenállások zaját méri – kis és nagy értékű ellenállások felhasználásával, és egy feltételezett ellenállás-nélküli összeköttetés felhasználásával. Mivel a jelölt nem az elv „felfedezésével”, hanem annak kísérleti megvalósításával és mérésekkel történő igazolásával foglalkozik, itt csak két alapvető kérdésem lenne:
 - a. A rendszer csak akkor működik, ha a két felhasználót (alacsony ellenállású) elektromos vezető köti össze – ma, nagy általánosságban e helyett bármi, mikrohullámú link, üvegszál... lehet a vezeték helyett! Míg a szokásos kódolásokat ez nem korlátozza, nem zárja-e ki a javasolt zaj-alapú kommunikáció lehetőségét?
 - b. Általánosan igaz, hogy az egyre növekvő információ áradat miatt a kommunikáció sebessége is egyre nő – megvalósítható-e igen nagy sebességű információ átvitel a zaj segítségével „kódolt” biztonságos kommunikáció esetében?

Amint az a fentiekből is látható, a jelölt dolgozata többé-kevésbé lazán összefüggő részekből áll, amit nagy általánosságban az (elkerülhetetlen) zaj, és annak hasznosítása, mérése köt össze és elsősorban műszaki jellegű. A munka és a tézisek alapját képező 51 dolgozat – és az azokkal szinte tökéletesen átfedő 18 meghívott előadás – igazolja a jelölt munkájának eredményességét.

A tézisekkel kapcsolatban a következő megjegyzéseim vannak:

1. Az 1.1., 1.2., és 1.3. téziseket elfogadom.
2. A 2. tétel alpontokat is elfogadom, azzal a megjegyzéssel, hogy a fejezet-címben és a dolgozat szövegében is szereplő „elektronikus eszközök meghibásodása” helyett jóval pontosabb a 2.1. tézispontban szereplő „perkolációs modell a vékony-réteg ellenállások meghibásodásának a leírására”. Ezzel a korlátozással és azzal a megjegyzéssel, hogy a mai összetett áramkörök esetében az elektronika területén szinte elképzelhetetlen a meghibásodások előre jelzése akár csak a zaj megnövekedésének folyamatos monitorázásával, ezért nem is szokásos.
3. A jelölt munkásságának fontos része annak a DSP alapú adatgyűjtő és ellenőrző rendszer fejlesztése, amit a dolgozat különböző kutatási területein ő maga és munkatársai is eredményesen használtak és használnak. A bíráló azonban azon a

véleményen van, hogy például egy új mérési elv lehet tudományos eredmény, de ismert elvek alapján összerakott mérőrendszer, ha nincs újdonság erejű megoldás benne, nem az. Ezért, mint új tézispontot nem javaslom ezt.

4. Azt hiszem a stohasztikus rezonancia tárgyában végzett munka a dolgozat talán legfontosabb része. A tézispontok számát (7) kicsit soknak tartom, és a 4.1, 4.6. és esetleg a 4.5. pontokat, ami részben a tanítványai által végzett munkákat összegezi, talán jobb lett volna egy pontba összegezni. Külön sajnálom, hogy zaj hatását biológiai rendszerekben csak egy texas-i kapcsolaton keresztül említi, hiszen Szeged a magyar biológiai kutatás egyik fellekvára és amennyire én kívülállóként az irodalom alapján fel tudom mérni, ez ma talán a legizgalmasabb része a területnek.
5. A fluktuációk által **megnövelt** gáz detektálási érzékenységet én csak akkor láttam volna igazoltnak, ha ugyanazt a rendszert különféle módon is megmérte volna, sajnos itt még irodalmi adatok sem szerepeltek a tipikus és esetleg rekord érzékenységu mérések összehasonlítására. Ezért ezt a részt a négy külön tézispont helyett egy pontba foglalnám, amely a fluktuációk felhasználását részletezné, mint egy lehetséges gáz érzékelési módszert.
6. A kommunikáció területén végzett munkája lényegében volt munkatársa, Kiss László eredményeinek kísérleti megvalósítására és igazolására szolgál. Talán ezért is az eredmények formális tézisekben való foglalása helyett itt az elvégzett munka felsorolása szerepel. Ezt ilyen formában elfogadom, bár amint azt korábban már kifejtettem, alig hiszem, hogy a hírközlésben, annak mai fejlettsége és összetett volta mellett közvetlenül alkalmazható lenne.

Összefoglalva, Gingl Zoltán munkáját nagyra értékelem, dolgozatai és szerteágazó tudományos eredményei, amit a zaj fizikai fogalma és alkalmazásai kötnek össze, véleményem szerint alkalmasak a Tudományok Doktori cím elérésére, ezért javaslom a nyilvános vita kitűzését és a cím odaítélését eredményes védés esetén. A tudományos eredményeit összegező téziseit a fentebb részletezett apróbb módosításokkal elfogadom.

Budapest, 2013. december 11.

Beleznay Ferenc

a fizikai tud. doktora